

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Yukio TANIGUCHI, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: CRYSTALLIZATION APPARATUS, OPTICAL MEMBER FOR USE IN CRYSTALLIZATION APPARATUS, CRYSTALLIZATION METHOD, MANUFACTURING METHOD OF THIN FILM TRANSISTOR, AND MANUFACTURING METHOD OF MATRIX CIRCUIT SUBSTRATE OF DISPLAY

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2002-188846	June 28, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)  
☐ are submitted herewith  
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland  
Registration Number 21,124



22850

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 6月28日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-188846

[ST.10/C]:

[JP2002-188846]

出 願 人

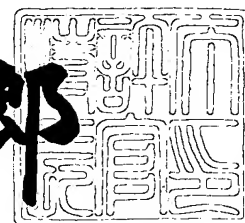
Applicant(s):

株式会社 液晶先端技術開発センター

2003年 6月18日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3047409

【書類名】 特許願

【整理番号】 YJ-035

【あて先】 特許庁長官殿

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 谷口 幸夫

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 松村 正清

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 山口 弘高

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 西谷 幹彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 辻川 晋

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 木村 嘉伸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶

先端技術開発センター内

【氏名】 十文字 正之

【特許出願人】

【識別番号】 501286657

【氏名又は名称】 株式会社液晶先端技術開発センター

【代理人】

【識別番号】 100095256

【弁理士】

【氏名又は名称】 山口 孝雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033020

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0207610

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書  
【発明の名称】 結晶化装置および結晶化方法  
【特許請求の範囲】

【請求項 1】 位相シフトマスクを照明する照明光学系を備え、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置において、

前記照明光学系と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置されて、前記照明光学系から供給された光束を複数の光束に波面分割し且つ波面分割された各光束に対応する位相シフト部またはその近傍へ集光するための波面分割素子を備えていることを特徴とする結晶化装置。

【請求項 2】 前記波面分割素子は 2 つの方向に沿って二次元的に配置された複数の光学要素を有し、各光学要素は前記 2 つの方向に沿って二次元的な集光機能を有することを特徴とする請求項 1 に記載の結晶化装置。

【請求項 3】 前記波面分割素子は所定の方向に沿って一次元的に配置された複数の光学要素を有し、各光学要素は前記所定の方向に沿って一次元的な集光機能を有することを特徴とする請求項 1 に記載の結晶化装置。

【請求項 4】 前記照明光学系は、その照明瞳面またはその近傍において中央よりも周辺において光強度の大きい所定の光強度分布を形成するための光強度分布形成素子を備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 5】 前記所定の光強度分布は、光強度の比較的小さい円形状の中央領域と、該中央領域を包囲するように形成された光強度の比較的大きい円環状の周辺領域とを有することを特徴とする請求項 4 に記載の結晶化装置。

【請求項 6】 前記所定の光強度分布は、所定方向に沿って細長く延びた光強度の比較的小さい中央領域と、該中央領域を包囲または挟むように形成された光強度の比較的大きい周辺領域とを有することを特徴とする請求項 4 に記載の結晶化装置。

【請求項 7】 前記光強度分布形成素子は、前記照明瞳面またはその近傍に

配置された所定の光透過率分布を有する透過フィルターを有することを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 8】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとは互いにほぼ平行に且つ近接して配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 9】 前記照明光学系の開口数を  $NA_1$  とし、前記波面分割素子の焦点距離を  $f$  とし、前記波面分割素子の開口数を  $NA_2$  とし、照明光の波長を  $\lambda$  とするとき、

$$\lambda / NA_2 < f \times NA_1$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 8 に記載の結晶化装置。

【請求項 10】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、

前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記位相シフトマスクと光学的に共役な面から前記結像光学系の光軸に沿って所定距離だけ離れて設定されていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 11】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、

前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記位相シフトマスクと光学的にほぼ共役な面に設定され、

前記結像光学系の像側開口数は、前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定されていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 12】 前記照明光学系の開口数を  $NA_1$  とし、前記波面分割素子の焦点距離を  $f$  とし、前記波面分割素子の開口数を  $NA_2$  とし、照明光の波長を  $\lambda$  とし、前記結像光学系の像側開口数を  $NA_3$  とするとき、

$$\lambda / NA_2 < f \times NA_1$$

$$\lambda / NA_3 < f \times NA_1$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の結晶化装置

【請求項 1 3】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜に照射される光強度分布は、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターン領域と、該逆ピークパターン領域から周囲に向かって光強度が増加する凹型パターン領域とを有し、前記逆ピークパターン領域と前記凹型パターン領域との間において周囲に向かって傾きが減じる変曲点を有することを特徴とする請求項 4 乃至 1 2 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 1 4】 前記波面分割素子と前記位相シフトマスクとが一体的に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 1 5】 一体的に形成された前記波面分割素子と前記位相シフトマスクとは、光の入射方向から順に、前記波面分割素子の入射面、前記波面分割素子と前記位相シフトマスクとの界面、および前記位相シフトマスクの位相シフト面を有することを特徴とする請求項 1 4 に記載の結晶化装置。

【請求項 1 6】 請求項 1 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の前記光変換素子と前記位相シフトマスクとが一体的に形成されていることを特徴とする光学部材。

【請求項 1 7】 照明光学系で位相シフトマスクを照明し、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化方法において、

前記照明光学系から供給された光束を複数の光束に波面分割し且つ波面分割された各光束に対応する位相シフト部またはその近傍へ集光することを特徴とする結晶化方法。

【請求項 1 8】 前記照明光学系の照明瞳面において中央よりも周辺において光強度の大きい所定の光強度分布を形成することを特徴とする請求項 1 7 に記載の結晶化方法。

【請求項 1 9】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとを互いにほぼ平行に且つ近接して配置することを特徴とする請求項 1 7 または 1 8 に記載の結晶化方法。

【請求項 2 0】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、

前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を前記位相シフトマスクと光学的に共役な面から前記結像光学系の光軸に沿って所定距離だけ離れて設定することを特徴とする請求項 1 7 または 1 8 に記載の結晶化方法。

【請求項 2 1】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、

前記結像光学系の像側開口数を前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定し、

前記位相シフトマスクと光学的にほぼ共役な面に前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を設定することを特徴とする請求項 1 7 または 1 8 に記載の結晶化方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶化装置および結晶化方法に関する。特に、本発明は、位相シフトマスクを用いて位相変調されたレーザ光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する装置および方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、たとえば液晶表示装置 (Liquid-Crystal-Display: LCD) の画素に印加する電圧を制御するスイッチング素子などに用いられる薄膜トランジスタ (Thin-Film-Transistor: TFT) の材料は、非晶質シリコン (amorphous-Silicon) と多結晶シリコン (poly-Silicon) とに大別される。

【0 0 0 3】

多結晶シリコンは、非晶質シリコンよりも電子移動度が高い。したがって、多結晶シリコンを用いてトランジスタを形成した場合、非晶質シリコンを用いる場合よりも、スイッチング速度が速くなり、ひいてはディスプレイの応答が速くなり、他の部品の設計マージンを減らせるなどの利点がある。また、ディスプレイ



本体以外にドライバ回路やD A Cなどの周辺回路をディスプレイに組み入れる場合に、それらの周辺回路をより高速に動作させることができる。

## 【 0 0 0 4 】

多結晶シリコンは結晶粒の集合からなるが、結晶シリコンに比べると電子移動度が低い。また、多結晶シリコンを用いて形成した小型のトランジスタでは、チャネル部における結晶粒界数のバラツキが問題となる。そこで、最近、電子移動度を向上させ且つチャネル部における結晶粒界数のバラツキを少なくするために、大粒径の多結晶シリコンを生成する結晶化方法が提案されている。

## 【 0 0 0 5 】

従来、この種の結晶化方法として、多結晶半導体膜または非晶質半導体膜と平行に近接させた位相シフトマスクにエキシマレーザ光を照射して結晶化半導体膜を生成する「位相制御E L A (Excimer Laser Annealing)」が知られている。位相制御E L Aの詳細は、たとえば「表面科学Vol.21, No.5, pp.278-287, 2000」に開示されている。

## 【 0 0 0 6 】

位相制御E L Aでは、位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度がほぼ0の逆ピークパターン（中心において光強度がほぼ0で周囲に向かって光強度が急激に増大するパターン）の光強度分布を発生させ、この逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射する。その結果、光強度分布に応じて溶融領域が生じ、光強度がほぼ0の点に対応して溶けない部分または最初に凝固する部分に結晶核が形成され、その結晶核から周囲に向かって結晶が横方向に成長（ラテラル成長）することにより大粒径の結晶が生成される。

## 【 0 0 0 7 】

## 【発明が解決しようとする課題】

たとえば液晶表示装置を製造する場合、上述のような結晶化の必要なトランジスタ領域が各画素領域において占める割合は非常に小さいのが一般的である。この場合、従来技術では、たとえば二次元的に配置された複数の位相シフト部を有する位相シフトマスクに対してレーザ光を一様に照射するので、照明光学系から

供給されるレーザ光の大部分はトランジスタ領域の結晶化に寄与することがなく、いわゆる光量損失が非常に大きいという不都合があった。

【0008】

また、上述したように、従来技術では、位相シフト部に対応する点において光強度がほぼ0の逆ピークパターンの光強度分布を有する光を半導体膜に照射し、その光強度分布において光強度がほぼ0の点に対応した部分に結晶核が形成されるので、結晶核の形成位置の制御が可能である。しかしながら、互いに隣接する2つの位相シフト部に対応して形成される2つの隣接した逆ピークパターンの間の中間部における光強度分布の制御を行うことは不可能である。

【0009】

実際に、従来技術では、中間部における光強度分布は不規則なうねり（光強度の増大と減少とを繰り返すような波状分布）を伴うのが一般的である。この場合、結晶化のプロセスにおいて、結晶核から周囲に向かって開始したラテラル成長が、中間部において光強度が減少する部分で停止してしまい、大きな結晶の成長が妨げられるという不都合があった。また、仮に中間部においてほぼ一様な光強度分布が得られたとしても、この一様な光強度分布の任意の位置でラテラル成長が停止してしまい、大きな結晶の成長が妨げられるという不都合があった。

【0010】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、照明光学系から供給される光の大部分を所望領域の結晶化に寄与させることのできる、光効率の良好な結晶化装置および結晶化方法を提供することを目的とする。また、本発明は、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することのできる結晶化装置および結晶化方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、位相シフトマスクを照明する照明光学系を備え、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置にお

いて、前記照明光学系と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置されて、前記照明光学系から供給された光束を複数の光束に波面分割し且つ波面分割された各光束を対応する位相シフト部またはその近傍へ集光するための波面分割素子を備えていることを特徴とする結晶化装置を提供する。

#### 【 0 0 1 2 】

第 1 発明の好ましい態様によれば、前記波面分割素子は 2 つの方向に沿って二次元的に配置された複数の光学要素を有し、各光学要素は前記 2 つの方向に沿って二次元的な集光機能を有する。あるいは、前記波面分割素子は所定の方向に沿って一次的に配置された複数の光学要素を有し、各光学要素は前記所定の方向に沿って一次的な集光機能を有する。

#### 【 0 0 1 3 】

また、第 1 発明の好ましい態様によれば、前記照明光学系は、その照明瞳面またはその近傍において中央よりも周辺において光強度の大きい所定の光強度分布を形成するための光強度分布形成素子を備えている。この場合、前記所定の光強度分布は、光強度の比較的小さい円形状の中央領域と、該中央領域を包囲するように形成された光強度の比較的大きい円環状の周辺領域とを有するか、あるいは、所定方向に沿って細長く延びた光強度の比較的小さい中央領域と、該中央領域を包囲または挟むように形成された光強度の比較的大きい周辺領域とを有することが好ましい。さらに、前記光強度分布形成素子は、前記照明瞳面またはその近傍に配置された所定の光透過率分布を有する透過フィルターを有することが好ましい。

#### 【 0 0 1 4 】

さらに、第 1 発明の好ましい態様によれば、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとは互いにほぼ平行に且つ近接して配置されている。あるいは、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記位相シフトマスクと光学的に共役な面から前記結像光学系の光軸に沿って所定距離だけ離れて設定されている。あるいは、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクと

の間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記位相シフトマスクと光学的にほぼ共役な面に設定され、前記結像光学系の像側開口数は、前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定されている。

#### 【0015】

本発明の第2発明では、照明光学系で位相シフトマスクを照明し、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化方法において、前記照明光学系から供給された光束を複数の光束に波面分割し且つ波面分割された各光束に対応する位相シフト部またはその近傍へ集光することを特徴とする結晶化方法を提供する。この場合、前記照明光学系の照明瞳面において中央よりも周辺において光強度の大きい所定の光強度分布を形成することが好ましい。

#### 【0016】

第2発明の好ましい態様によれば、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとを互いにほぼ平行に且つ近接して配置する。あるいは、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を前記位相シフトマスクと光学的に共役な面から前記結像光学系の光軸に沿って所定距離だけ離れて設定する。あるいは、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、前記結像光学系の像側開口数を前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定し、前記位相シフトマスクと光学的にほぼ共役な面に前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を設定する。

#### 【0017】

##### 【発明の実施の形態】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の第1実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。第1実施形態の結晶化装置は、位相シフトマスク1を照明する照明光学系

2を備えている。照明光学系2は、たとえば248nmの波長を有する光を供給するKrFエキシマレーザ光源2aを備えている。なお、光源2aとして、XeClエキシマレーザ光源のような他の適当な光源を用いることもできる。光源2aから供給されたレーザ光は、ビームエキスパンダ2bを介して拡大された後、第1フライアイレンズ2cに入射する。

#### 【0018】

こうして、第1フライアイレンズ2cの後側焦点面には複数の光源が形成され、これらの複数の光源からの光束は第1コンデンサー光学系2dを介して、第2フライアイレンズ2eの入射面を重疊的に照明する。その結果、第2フライアイレンズ2eの後側焦点面には、第1フライアイレンズ2cの後側焦点面よりも多くの複数の光源が形成される。第2フライアイレンズ2eの後側焦点面に形成された複数の光源からの光束は、第2コンデンサー光学系2fを介して、位相シフトマスク1を重疊的に照明する。なお、第2フライアイレンズ2eの後側焦点面（すなわち照明瞳面）またはその近傍には透過フィルター2gが配置されているが、その構成および作用については後述する。

#### 【0019】

ここで、第1フライアイレンズ2cおよび第1コンデンサー光学系2dは第1ホモジナイザを構成し、この第1ホモジナイザにより位相シフトマスク1上での入射角度に関する均一化が図られる。また、第2フライアイレンズ2eおよび第2コンデンサー光学系2fは第2ホモジナイザを構成し、この第2ホモジナイザにより位相シフトマスク1上での面内位置に関する均一化が図られる。したがって、照明光学系2と位相シフトマスク1との間の光路中にはマイクロレンズアレイ3が配置されているが、マイクロレンズアレイ3が介在しない状態では照明光学系2はほぼ均一な光強度分布を有する光を位相シフトマスク1に照射する。

#### 【0020】

位相シフトマスク1を介して位相変調されたレーザ光は、位相シフトマスク1と平行に且つ近接して配置された被処理基板4に照射される。ここで、被処理基板4は、たとえば液晶ディスプレイ用板ガラスの上に化学気相成長法により下地膜および非晶質シリコン膜を形成することにより得られる。換言すれば、位相シ

フトマスク 1 は、非晶質半導体膜と対向するように設定されている。被処理基板 4 は、真空チャックや静電チャックなどにより基板ステージ 5 上において所定の位置に保持されている。

#### 【 0 0 2 1 】

図 2 は、照明瞳面またはその近傍に配置された透過フィルターの構成を概略的に示す図である。図 2 に示すように、透過フィルター 2 g は、たとえば透過率が 5 0 % の円形状の中央領域 1 2 a と、中央領域 1 2 a を包囲するように形成された透過率がほぼ 1 0 0 % の円環状の周辺領域 1 2 b とを有する。したがって、透過フィルター 2 g は、照明瞳面またはその近傍において、光強度の比較的小さい円形状の中央領域と、その中央領域を包囲するように形成された光強度の比較的大きい円環状の周辺領域とを有する光強度分布を形成する。

#### 【 0 0 2 2 】

なお、透過フィルター 2 g の中央領域 1 2 a は、例えば透過率に応じた厚さのクロム膜（あるいは  $ZrSiO$  膜など）をスパッタ法などにより形成した後、エッチングなどによってパターニングすることにより得られる。この場合、遮光材料としてのクロムは、一部の光を反射し、一部の光を吸収する。あるいは、中央領域 1 2 a は、使用波長の光を部分的に反射するように設計された多層膜を形成しパターニングすることにより得られる。反射材料としての多層膜を用いる場合、不要光の吸収によって発熱することがないという利点があるが、反射光が迷光となってフレアの原因にならないように考慮する必要がある。また、中央領域 1 2 a と周辺領域 1 2 b との間で位相差が実質的に発生しないように、遮光材料や反射材料の種類およびその厚さなどを調整する必要がある。

#### 【 0 0 2 3 】

図 3 は、位相シフトマスクおよびマイクロレンズアレイの基本単位部分の構成を概略的に示す図である。図 3 ( a ) を参照すると、位相シフトマスク 1 の基本単位部分 1 1 は、4 つの矩形状の領域 1 1 a ~ 1 1 d を有する。ここで、第 1 領域 1 1 a の透過光と第 2 領域 1 1 b の透過光との間には  $\pi / 2$  の位相差が付与され、第 2 領域 1 1 b の透過光と第 3 領域 1 1 c の透過光との間にも  $\pi / 2$  の位相差が付与され、第 3 領域 1 1 c の透過光と第 4 領域 1 1 d の透過光との間にも  $\pi$

／2の位相差が付与され、第4領域11dの透過光と第1領域11aの透過光との間にも $\pi/2$ の位相差が付与されるように構成されている。

#### 【0024】

具体的は、たとえば位相シフトマスク1が248nmの波長を有する光に対して1.5の屈折率を有する石英ガラスで形成されている場合、第1領域11aと第2領域11bとの間には124nmの段差が付与され、第1領域11aと第3領域11cとの間には248nmの段差が付与され、第1領域11aと第4領域11dとの間には372nmの段差が付与されている。なお、各領域の境界線である4つの位相シフト線の交点は、後述するように位相シフト部11eを構成する。位相シフトマスク1は、図4に示すように、基本単位部分11を二次元的に配置することにより構成されている。

#### 【0025】

一方、マイクロレンズアレイ3の基本単位部分である微小レンズ要素（光学要素）13は、位相シフトマスク1に向かって凸状で且つ二次曲面状（たとえば球面状）の屈折面13aを有する。すなわち、屈折面13aは、図3（a）に示すように、x方向およびy方向に沿って二次元的な集光機能を有するように形成されている。そして、図3（a）の線A-Aに沿った断面図である図3（b）に示すように、屈折面13aの中心が位相シフトマスク1の基本単位部分11の位相シフト部11eに対応して位置決めされている。

#### 【0026】

こうして、マイクロレンズアレイ3の微小レンズ要素13に入射した光は、屈折面13aを介して集光作用を受け、微小レンズ要素13の焦点位置またはその近傍に配置された位相シフトマスク1の位相シフト部11eの位置にスポット状の光束を形成する。マイクロレンズアレイ3も、位相シフトマスク1と同様に、微小レンズ要素13を二次元的に（縦横に且つ稠密に）配置することにより構成されている。このように、マイクロレンズアレイ3は、照明光学系2と位相シフトマスク1との間の光路中に配置されて、照明光学系2から供給された光束を複数の光束に波面分割し且つ波面分割された各光束を対応する位相シフト部11eまたはその近傍へ集光するための波面分割素子を構成している。

## 【 0 0 2 7 】

図 5 は、位相シフトマスクの作用を説明する図である。以下、照明光学系 2 と位相シフトマスク 1 との間の光路中にマイクロレンズアレイ 3 が介在しない場合における位相シフトマスク 1 の基本的作用を説明する。この場合、位相シフトマスク 1 では、隣接する 2 つの領域の間の位相差が  $\pi/2$  に設定されているので、位相シフト線に対応する位置では光強度が減少するが 0 にはならない。一方、位相シフト線の交点を中心とする円形領域の複素透過率の積分値が 0 になるように設定されているので、この交点すなわち位相シフト部 1 1 e に対応する位置では光強度がほぼ 0 になる。

## 【 0 0 2 8 】

その結果、被処理基板 4 上では、図 5 に示すように、位相シフトマスク 1 の位相シフト部 1 1 e に対応する点において光強度がほぼ 0 で且つ周囲に向かって急激に光強度が増加する逆ピークパターンの光強度分布が得られる。この逆ピークパターンの光強度分布は、 $xz$  平面および  $yz$  平面の双方においてほぼ同じプロファイルを有する。なお、逆ピークパターンの幅寸法は、位相シフトマスク 1 と被処理基板 4 との距離（すなわちデフォーカス量）の  $1/2$  乗に比例して変化する。

## 【 0 0 2 9 】

ところで、図 6 に示すように、たとえば液晶表示装置を製造する場合、結晶化の必要なトランジスタ領域 6 0 が各画素領域（表示セル）6 1 において占める割合は非常に小さいのが一般的である。この場合、従来技術では、たとえば二次元的に配置された複数の位相シフト部 1 1 e を有する位相シフトマスク 1 に対してレーザ光を一様に照射するので、照明光学系から供給されるレーザ光の大部分はトランジスタ領域 6 0 の結晶化に寄与することがなく、いわゆる光量損失が非常に大きい。そこで、第 1 実施形態では、照明光学系 2 から供給される光の大部分を所望のトランジスタ領域 6 0 の結晶化に寄与させるために、照明光学系 2 と位相シフトマスク 1 との間の光路中にマイクロレンズアレイ 3 を導入している。

## 【 0 0 3 0 】

また、前述したように、従来技術では、図 5 に示すような逆ピークパターンの



光強度分布を有する光を半導体膜に照射していた。この場合、互いに隣接する 2 つの位相シフト部に対応して形成される 2 つの隣接した逆ピークパターンの間の中間部における光強度分布は不規則なうねりを伴っているので、光強度がほぼ 0 の点に対応したピーク部分に形成された結晶核から周囲に向かって開始したラテラル成長が中間部において光強度の減少する部分で停止してしまい、大きな結晶の成長が妨げられる。そこで、第 1 実施形態では、結晶核からの十分なラテラル成長を実現するために、照明光学系 2 の照明瞳面またはその近傍に透過フィルター 2 g を導入している。

### 【 0 0 3 1 】

図 7 は、透過フィルターとマイクロレンズアレイとの協働作用により位相シフトマスク上で得られる光強度分布を説明する図である。上述したように、透過フィルター 2 g は、照明瞳面またはその近傍において、光強度の比較的小さい円形状の中央領域と光強度の比較的大きい円環状の周辺領域とを有する光強度分布を形成する。一方、マイクロレンズアレイ 3 の各微小レンズ要素 1 3 は、入射光束を集光して、位相シフトマスク 1 の位相シフト部 1 1 e の位置にスポット状の光束を形成する。

### 【 0 0 3 2 】

その結果、図 7 に示すように、位相シフトマスク 1 上では、その位相シフト部 1 1 e において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布が得られる。具体的には、中心において光強度が最も小さく、その周囲に向かって光強度が増加し、その外周部において光強度が急激に低下するような凹型パターンの光強度分布が得られる。なお、この凹型パターンの光強度分布は、x z 平面および y z 平面の双方において同様のプロファイルを有する。

### 【 0 0 3 3 】

図 8 は、透過フィルターとマイクロレンズアレイと位相シフトマスクとの協働作用により被処理基板上で得られる光強度分布を説明する図である。上述したように、位相シフトマスク 1 は、均一な光強度分布を有する光に基づいて図 5 に示すような逆ピークパターンの光強度分布を有する光に変換して被処理基板 4 に（

ひいては半導体膜に) 照射する機能を有する。一方、透過フィルター 2 g とマイクロレンズアレイ 3 とは、中心において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布を有するスポット状の光束を位相シフト部 1 1 e に照射する機能を有する。

#### 【 0 0 3 4 】

したがって、第 1 実施形態では、透過フィルター 2 g とマイクロレンズアレイ 3 と位相シフトマスク 1 との協働作用により、逆ピークパターンの光強度分布と凹型パターンの光強度分布との積で表される図 8 に示すような 2 段逆ピークパターンの光強度分布が被処理基板 4 の半導体膜上において得られる。図 8 に示す 2 段逆ピークパターンの光強度分布では、上述の逆ピークパターンに対応するように、位相シフト部 1 1 e に対応する点において光強度がほぼ 0 で、その周囲に向かって放射状に急激に光強度が増加して所定の値に達する。その後、光強度は、上述の凹型パターンに対応するように、その周囲に向かって放射状に緩やかに光強度が増加し、やがてその外周部において光強度が急激に低下している。

#### 【 0 0 3 5 】

その結果、第 1 実施形態では、2 段逆ピークパターンの光強度分布において光強度がほぼ 0 の点 (すなわち位相シフト部 1 1 e に対応する点) に対応した部分に結晶核が形成される。次いで、結晶核から、光強度勾配 (ひいては温度勾配) の大きい方向に沿って且つ周囲に向かってラテラル成長が開始される。このとき、2 段逆ピークパターンの光強度分布では、従来技術とは異なり中間部において光強度が減少する部分が実質的に存在しないので、外周部の近傍までラテラル成長が途中で停止することなく大きな結晶の成長を実現することができる。

#### 【 0 0 3 6 】

こうして、第 1 実施形態では、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。特に、マイクロレンズアレイ 3 の微小レンズ要素 1 3 の屈折面 1 3 a の曲率が x 方向と y 方向とで異なるように設定し、ひいては凹型パターンに対応する外側の逆ピークパターンにおける光強度勾配が x 方向と y 方向とで異なるように設定し、所望の方向に沿ってラテラル成長を導くことができる。この場合、生成された大粒径の結晶では、ラテラル

成長の方向に高い電子移動度を有するので、ラテラル成長の方向にトランジスタのソースドレインを配置することにより、良好な特性のトランジスタを製造することができる。

## 【 0 0 3 7 】

また、第 1 実施形態では、マイクロレンズアレイ 3 に入射した光が多数の微小レンズ要素 1 3 によって波面分割され、各微小レンズ要素 1 3 を介して集光された光束は対応する位相シフト部 1 1 e においてスポット状の光束を形成する。そして、各位相シフト部 1 1 e を介した光束は、被処理基板 4 上において各トランジスタ領域 6 0 を包囲するスポット状の光束（図 6 において参照符号 6 2 で示す）を形成する。その結果、第 1 実施形態では、照明光学系 2 から供給される光の大部分を所望のトランジスタ領域 6 0 の結晶化に寄与させることができ、光効率の良好な結晶化を実現することができる。

## 【 0 0 3 8 】

なお、第 1 実施形態では、照明光学系 2 の開口数を  $NA1$  とし、マイクロレンズアレイ 3 の焦点距離（すなわち各微小レンズ要素 1 3 の焦点距離）を  $f$  とし、マイクロレンズアレイ 3 の開口数（すなわち各微小レンズ要素 1 3 の開口数）を  $NA2$  とし、照明光の波長を  $\lambda$  とするとき、以下の条件式（1）を満足することが望ましい。

$$\lambda / NA2 < f \times NA1 \quad (1)$$

## 【 0 0 3 9 】

条件式（1）において、右辺は位相シフト部 1 1 e に形成されるスポット状の光束の大きさ（半径）に対応する値であり、左辺はマイクロレンズアレイ 3 の解像度  $R2$  に対応する値である。条件式（1）を満足しない場合、図 7 に示すような明確な凹型パターンの光強度分布を形成することが、ひいては図 8 に示すような明確な 2 段逆ピークパターンの光強度分布を形成することが困難になるので好ましくない。

## 【 0 0 4 0 】

第 1 実施形態では、通常的设计条件にしたがって、条件式（1）に関するシミュレーションを行っている。このシミュレーションでは、マイクロレンズアレイ

3の各微小レンズ要素13のピッチ（大きさ）Dを $100\mu\text{m}$ に設定し、その焦点距離fを $500\mu\text{m}$ に設定し、照明光学系2の開口数NA1を0.02に設定している。この場合、マイクロレンズアレイ3の開口数、すなわち各微小レンズ要素13の開口数NA2は、次の式（a）で近似される。

$$\text{NA}2 \doteq D / f = 100 / 500 = 0.2 \quad (\text{a})$$

【0041】

その結果、条件式（1）の左辺および右辺はそれぞれ次の式（b）および（c）で表される。

$$\lambda / \text{NA}2 \doteq 0.248 / 0.2 \doteq 1.2\mu\text{m} \quad (\text{b})$$

$$f \times \text{NA}1 = 500 \times 0.02 = 10\mu\text{m} \quad (\text{c})$$

こうして、各トランジスタ領域60を包囲するスポット状の光束62の半径 $10\mu\text{m}$ に対して、マイクロレンズアレイ3の解像度が十分に小さいので、図8に示すような明確な2段逆ピークパターンの光強度分布を形成することが可能であることがわかる。

【0042】

図9は、本発明の第2実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。第2実施形態は第1実施形態と類似の構成を有するが、第2実施形態では位相シフトマスク1と被処理基板4との間の光路中に結像光学系6を備えている点が第1実施形態と基本的に相違している。以下、第1実施形態との相違点に着目して、第2実施形態を説明する。なお、図9では、図面の明瞭化のために、照明光学系2の内部構成の図示を省略している。

【0043】

第2実施形態では、図9に示すように、被処理基板4は位相シフトマスク1と光学的に共役な面（結像光学系6の像面）から光軸に沿って所定距離だけ離れて設定されている。この場合、位相シフトマスク1の作用により被処理基板4の半導体膜上に形成される逆ピークパターンの幅寸法は、結像光学系6の解像度が十分であれば、結像光学系6の像面と被処理基板4との距離（すなわちデフォーカス量）の $1/2$ 乗に概ね比例して変化する。なお、結像光学系6は、屈折型の光学系であってもよいし、反射型の光学系であってもよいし、屈折反射型の光学系

であってもよい。

【0044】

第2実施形態においても第1実施形態と同様に、透過フィルター2gとマイクロレンズアレイ3と位相シフトマスク1との協働作用により2段逆ピークパターンの光強度分布が被処理基板4の半導体膜上に形成されるので、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。また、マイクロレンズアレイ3と位相シフトマスク1との協働作用により照明光学系2から供給される光の大部分を所望の領域の結晶化に寄与させることができ、光効率の良好な結晶化を実現することができる。

【0045】

なお、第1実施形態では被処理基板4におけるアブレーションに起因して位相シフトマスク1が汚染され、ひいては良好な結晶化が妨げられることがある。これに対して、第2実施形態では、位相シフトマスク1と被処理基板4との間に結像光学系6が介在し且つ被処理基板4と結像光学系6との間隔も比較的大きく確保されているので、被処理基板4におけるアブレーションの影響を受けることなく良好な結晶化を実現することができる。

【0046】

また、第1実施形態では、位相シフトマスク1と被処理基板4との間に設定すべき間隔が非常に小さい（たとえば数 $\mu\text{m}$ ～数百 $\mu\text{m}$ ）ので、位相シフトマスク1と被処理基板4との間の狭い光路中に位置検出のための検出光を導入することが困難であり、ひいては位相シフトマスク1と被処理基板4との間隔を調整することが困難である。これに対して、第2実施形態では、被処理基板4と結像光学系6との間隔が比較的大きく確保されているので、被処理基板4と結像光学系6との間の光路中に位置検出のための検出光を導入して、被処理基板4と結像光学系6との位置関係を調整することが容易である。

【0047】

図10は、本発明の第3実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。第3実施形態は第2実施形態と類似の構成を有するが、第3実施形態では結像光学系7を介して位相シフトマスク1と被処理基板4とが光学的に共役に

配置されている点が第 2 実施形態と基本的に相違している。以下、第 2 実施形態との相違点に着目して、第 3 実施形態を説明する。なお、図 1 0 においても、図面の明瞭化のために、照明光学系 2 の内部構成の図示を省略している。

#### 【 0 0 4 8 】

第 3 実施形態では、結像光学系 7 は、その瞳面に配置された開口絞り 7 a を備えている。開口絞り 7 a は、開口部（光透過部）の大きさの異なる複数の開口絞りを有し、これらの複数の開口絞りは光路に対して交換可能に構成されている。あるいは、開口絞り 7 a は、開口部の大きさを連続的に変化させることのできる虹彩絞りを有する。いずれにしても、開口絞り 7 a の開口部の大きさ（ひいては結像光学系 7 の像側開口数）は、被処理基板 4 の半導体膜上において所要の逆ピークパターンの光強度分布を発生させるように設定されている。

#### 【 0 0 4 9 】

この場合、位相シフトマスク 1 の作用により被処理基板 4 の半導体膜上に形成される逆ピークパターンの幅寸法は、結像光学系 7 の解像度  $R_3$  と同程度になる。結像光学系 7 の解像度  $R_3$  は、使用光の波長を  $\lambda$  とし、結像光学系 7 の像側開口数を  $NA_3$  とすると、 $R = k \lambda / NA_3$  で規定される。ここで、定数  $k$  は、位相シフトマスク 1 を照明する照明光学系 2 の仕様や、光源 1 から供給される光束のコヒーレンスの程度、解像度の定義にもよるが、ほぼ 1 に近い値である。このように、第 3 実施形態では、結像光学系 7 の像側開口数  $NA_3$  を小さくして、結像光学系 7 の解像を低下させると、逆ピークパターンの幅寸法が大きくなる。

#### 【 0 0 5 0 】

第 3 実施形態においても第 1 実施形態および第 2 実施形態と同様に、2 段逆ピークパターンの光強度分布が被処理基板 4 の半導体膜上に形成されるので、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することができるとともに、照明光学系 2 から供給される光の大部分を所望の領域の結晶化に寄与させることができ、光効率の良好な結晶化を実現することができる。また、第 3 実施形態においても第 2 実施形態と同様に、被処理基板 4 におけるアブレーションの影響を受けることなく良好な結晶化を実現することができるとともに、被処理基板 4 と結像光学系 7 との位置関係を調整することが容易である。

## 【 0 0 5 1 】

なお、第 2 実施形態および第 3 実施形態では、上述の条件式 (1) に加えて次の条件式 (2) を満足することが望ましい。なお、条件式 (2) において、 $NA_3$  は、上述したように、結像光学系 (6, 7) の像側開口数である。

$$\lambda / NA_3 < f \times NA_1 \quad (2)$$

## 【 0 0 5 2 】

条件式 (2) において、右辺は位相シフト部 11e に形成されるスポット状の光束の大きさ (半径) に対応する値であり、左辺は結像光学系 (6, 7) の解像度  $R_3$  に対応する値である。条件式 (2) を満足しない場合、図 8 に示すような明確な 2 段逆ピークパターンの光強度分布を形成することが困難になるので好ましくない。

## 【 0 0 5 3 】

なお、上述の各実施形態では、波面分割素子としてのマイクロレンズアレイ 3 が、二次元的に配置して構成された複数の光学要素 (微小レンズ要素) を有し、各光学要素は二次曲面状の屈折面を介して二次元的な集光機能を有する。しかしながら、これに限定されることなく、たとえば図 11 に示すようなマイクロシリンドリカルレンズアレイ 3' を用いる変形例も可能である。マイクロシリンドリカルレンズアレイ 3' は、所定の方向に沿って一次元的に配置された複数の光学要素 13' を有し、各光学要素 13' は所定の方向に沿って一次元的な集光機能を有する屈折面 13' a を有する。この変形例では、マイクロシリンドリカルレンズアレイ 3' の使用に合わせて、図 12 に示すような透過フィルター 2h を用いることが望ましい。

## 【 0 0 5 4 】

透過フィルター 2h は、たとえば透過率が 50% の細長い矩形状の中央領域 12c と、中央領域 12c を挟むように形成された透過率がほぼ 100% の一對の半円形状の周辺領域 12d とを有する。したがって、透過フィルター 2h は、照明瞳面またはその近傍において、光強度の比較的小さい細長い矩形状の中央領域と、その中央領域を挟むように形成された光強度の比較的大きい一對の半円形状の周辺領域とを有する光強度分布を形成する。ここで、透過フィルター 2h にお

ける中央領域 1 2 c の長手方向と、マイクロシリンドリカルレンズアレイ 3' における各微小シリンドリカルレンズ要素 1 3' の長手方向とは、光学的に対応するように設定されている。

#### 【 0 0 5 5 】

こうして、マイクロシリンドリカルレンズアレイ 3' に入射した光が多数の微小シリンドリカルレンズ要素 1 3' によって波面分割され、各微小シリンドリカルレンズ要素 1 3' を介して集光された光束は対応する位相シフト部 1 1 e においてスリット状（線状）の光束を形成する。そして、各位相シフト部 1 1 e を介した光束は、被処理基板 4 上において各トランジスタ領域 6 0 を包囲するスリット状の光束（図 6 において参照符号 6 3 で示す）を形成する。この場合、被処理基板 4 上において形成されるスリット状の光束の光強度分布は、その短辺方向に沿って図 8 に示すようなプロファイルを有し、その長手方向に沿って一様なプロファイルを有する。

#### 【 0 0 5 6 】

すなわち、マイクロシリンドリカルレンズアレイ 3' および透過フィルター 2 h を用いる変形例では、図 1 3 に示すような 2 段逆ピークパターンの光強度分布が得られる。その結果、変形例においても、2 段逆ピークパターンの光強度分布において光強度がほぼ 0 の点において結晶核が形成され、この結晶核から光強度勾配のある方向（図 1 2 において横方向）に沿って且つ周囲に向かって外周部の近傍までラテラル成長が行われるので、大きな結晶の成長を実現することができる。

#### 【 0 0 5 7 】

なお、上述の各実施形態および変形例では、マイクロレンズアレイ 3 およびマイクロシリンドリカルレンズアレイ 3' における屈折面（1 3 a, 1 3' a）を連続的な曲面形状に形成してもよいし、あるいは段差形状に形成してもよい。また、連続的な曲面やその多段近似に限定されることなく、位相差にして  $0 \sim 2\pi$  の範囲を折り返した「キノフォーム」として分割波面素子を構成することもできる。また、分割波面素子に屈折面を付与することなく、光学材料の屈折率分布によりその作用を実現してもよい。この場合、光強度により屈折率が変調されるフ



オートポリマーや、ガラスのイオン交換などの従来技術を使用することができる。  
また、ホログラムもしくは回折光学素子を用いて、分割波面素子を実現してもよい。

## 【 0 0 5 8 】

さらに、上述の各実施形態では、位相シフトマスク 1 が、 $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$  の位相に対応する 4 つの矩形状の領域から構成されているが、これに限定されることなく、位相シフトマスクについて様々な変形例が可能である。たとえば、3 以上の位相シフト線からなる交点（位相シフト部）を有し、この交点を中心とする円形領域の複素透過率の積分値がほぼ 0 であるような位相シフトマスクを用いることができる。また、図 1 4 に示すように、位相シフト部に対応する円形状の段差を有し、この円形状の段差部分の透過光とその周囲の透過光との位相差が  $\pi$  になるように設定された位相シフトマスクを用いることもできる。

## 【 0 0 5 9 】

ところで、図 8 を再び参照すると、被処理基板 4 の半導体膜（多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜）に照射される光強度分布は、位相シフトマスク 1 の位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターン領域と、この逆ピークパターン領域から周囲に向かって光強度が増加する凹型パターン領域とを有する。そして、この 2 段逆ピークパターンの光強度分布は、逆ピークパターン領域と凹型パターン領域との間において周囲に向かって傾きが減じる変曲点を有する。

## 【 0 0 6 0 】

この場合、逆ピークパターンの光強度分布において傾きの大きな位置に結晶核は発生するが、結晶核の内部は多結晶になり、その周囲に所望の単結晶が形成される。したがって、逆ピークパターン領域と凹型パターン領域との間において傾きが減じる変曲点が存在しないような光強度分布を被処理基板 4 の半導体膜に照射しても、結晶核の発生位置が外側になり、結晶化する領域の面積が狭くなってしまう。なお、光強度分布は設計の段階でも計算できるが、実際の被処理面（被露光面）での光強度分布を観察して確認しておくことが望ましい。そのためには、被処理面を光学系で拡大し、CCD などの撮像素子で入力すれば良い。使用光

が紫外線の場合は、光学系が制約を受けるため、被処理面に蛍光板を設けて可視光に変換しても良い。

#### 【 0 0 6 1 】

また、上述の実施形態では、波面分割素子（マイクロレンズアレイ 3 またはマイクロシリンドリカルレンズアレイ 3' ）と位相シフトマスク 1 とが個別の光学部材として形成されているが、これに限定されることなく、波面分割素子 3 と位相シフトマスク 1 とを一体的に形成することもできる。この場合、装置に取り付ける際に波面分割素子 3 および位相シフトマスク 1 をそれぞれ位置合わせする必要がなく、一体化された 1 つの光学部材として波面分割素子 3 と位相シフトマスク 1 とを装置に対して精度良く取り付けることができる。

#### 【 0 0 6 2 】

なお、一体的に形成された波面分割素子 3 と位相シフトマスク 1 とは、光の入射方向から順に、波面分割素子 3 の入射面、波面分割素子 3 と位相シフトマスク 1 との界面、および位相シフトマスク 1 の位相シフト面を有することが好ましい。このように、位相シフト面よりも被処理基板 4 側にガラスなどの層構造がない構成を採ることにより、第 1 実施形態において位相シフト面と被処理基板 4 との距離を十分に接近させて良好な結晶化を行うことができる。

#### 【 0 0 6 3 】

また、第 2 実施形態および第 3 実施形態においては、特に逆ピークパターンの光強度分布を正確に形成するために高解像度を要するが、位相シフト面よりも被処理基板 4 側にガラスなどの層構造がない構成を採ることにより、不要な収差の発生を回避することができるので有利である。以下、一体的に形成された波面分割素子 3 と位相シフトマスク 1 との製造方法について簡単に説明する。

#### 【 0 0 6 4 】

図 1 5 は、一体的に形成された波面分割素子 3 と位相シフトマスク 1 との製造方法について説明する図である。図 1 5 を参照すると、たとえば屈折率が 1. 5 0 8 4 1 の石英基板 4 0 にレジスト 4 1 を塗布し、電子線描画および現像を行うことにより、レジストパターン 4 1 a が得られる。次いで、このレジストパターン 4 1 a をマスクとしてドライエッチングを行い、さらにレジスト除去を行うこ

とにより、石英基板 4 0 の表面がエッチング加工される。そして、レジスト塗布からレジスト除去までの工程を繰り返すことにより、石英基板 4 0 の表面において全体的にレンズ形状の屈折面（たとえば深さ  $0.124\ \mu\text{m}$ ）4 0 a が形成される。

#### 【 0 0 6 5 】

次いで、石英基板 4 0 のレンズ形状の屈折面 4 0 a に、たとえば屈折率が 2.3 程度の  $\text{Si}_x\text{N}_y$ （高屈折率材料）からなり  $3\ \mu\text{m}$  の厚さを有する高屈折率材料膜 4 2 を CVD 法により形成する。そして、たとえば CMP（Chemical Mechanical Polishing）の手法により、高屈折率材料膜 4 2 の表面を平坦化する。次いで、平坦化された高屈折率材料膜 4 2 の表面に、たとえば  $40\ \mu\text{m}$  の厚さを有する有機 SOG 膜（スピノングラス、たとえばアルコキシシランをアルキル基で置換したもの）4 3 を形成する。

#### 【 0 0 6 6 】

さらに、有機 SOG 膜 4 3 の表面にレジスト 4 4 を塗布し、電子線描画および現像を行うことにより、レジストパターン 4 4 a が得られる。次いで、このレジストパターン 4 4 a をマスクとしてドライエッチングを行い、さらにレジスト除去を行うことにより、たとえば  $0.248\ \mu\text{m}$  の深さを有する位相シフト面 4 5 が形成される。こうして、波面分割素子 3 を構成する石英基板 4 0 と、位相シフトマスク 1 を構成する高屈折率材料膜 4 2 および有機 SOG 膜 4 3 とが一体的に形成される。ここで、レンズ形状の屈折面 4 0 a は、波面分割素子 3 と位相シフトマスク 1 との界面を構成することになる。

#### 【 0 0 6 7 】

図 1 6 は、各実施形態の結晶化装置を用いて電子デバイスを作製する工程を示す工程断面図である。図 1 6（a）に示すように、絶縁基板 2 0（例えば、アルカリガラス、石英ガラス、プラスチック、ポリイミドなど）の上に、下地膜 2 1（例えば、膜厚  $50\ \text{nm}$  の  $\text{SiN}$  および膜厚  $100\ \text{nm}$  の  $\text{SiO}_2$  積層膜など）および非晶質半導体膜 2 2（例えば、膜厚  $50\ \text{nm} \sim 200\ \text{nm}$  程度の  $\text{Si}$ ,  $\text{Ge}$ ,  $\text{SiGe}$  など）を、化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜することにより、被処理基板 4 を準備する。そして、各実施形態の結晶化装置を用いて、

非晶質半導体膜 2 2 の表面の一部もしくは全部に、レーザ光 2 3（例えば、K r F エキシマレーザ光や X e C l エキシマレーザ光など）を照射する。

#### 【 0 0 6 8 】

こうして、図 1 6（b）に示すように、従来の結晶化装置を用いて生成された多結晶半導体膜に比べて大粒径の結晶を有する多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 2 4 が生成される。次に、図 1 6（c）に示すように、フォトリソグラフィ技術を用いて多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 2 4 を島状の半導体膜 2 5 に加工し、ゲート絶縁膜 2 6 として膜厚 2 0 n m ～ 1 0 0 n m の S i O<sub>2</sub> 膜を化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜する。さらに、図 1 6（d）に示すように、ゲート電極 2 7（例えば、シリサイドや M o W など）を形成し、ゲート電極 2 7 をマスクにして不純物イオン 2 8（N チャネルトランジスタの場合にはリン、P チャネルトランジスタの場合にはホウ素）を注入する。その後、窒素雰囲気アニール処理（例えば、4 5 0 ° C で 1 時間）を行い、不純物を活性化する。

#### 【 0 0 6 9 】

次に、図 1 6（e）に示すように、層間絶縁膜 2 9 を成膜してコンタクト穴をあけ、チャンネル 3 0 でつながるソース 3 1 およびドレイン 3 2 に接続するソース電極 3 3 およびドレイン電極 3 4 を形成する。このとき、図 1 6（a）および（b）に示す工程において生成された多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 2 4 の大粒径結晶の位置に合わせて、チャンネル 3 0 を形成する。以上の工程により、多結晶トランジスタまたは単結晶化半導体トランジスタを形成することができる。こうして製造された多結晶トランジスタまたは単結晶化トランジスタは、液晶ディスプレイや E L（エレクトロルミネッセンス）ディスプレイなどの駆動回路や、メモリ（S R A M や D R A M）や C P U などの集積回路などに適用可能である。

#### 【 0 0 7 0 】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、透過フィルターと波面分割素子と位相シフトマスクとの協働作用により 2 段逆ピークパターンの光強度分布が被処理基板の

半導体膜上に形成される。その結果、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

【0071】

また、本発明では、波面分割素子に入射した光が複数の光学要素によって波面分割され、各光学要素を介して集光された光束は対応する位相シフト部において、ひいては被処理基板上において所望の領域を包囲する光束を形成する。その結果、照明光学系から供給される光の大部分を所望の領域の結晶化に寄与させることができ、光効率の良好な結晶化を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】

照明瞳面またはその近傍に配置された透過フィルターの構成を概略的に示す図である。

【図3】

位相シフトマスクおよび集光発散素子の基本単位部分の構成を概略的に示す図である。

【図4】

位相シフトマスクがその基本単位部分を二次元的に配置することにより構成されている様子を示す図である。

【図5】

位相シフトマスクの作用を説明する図である。

【図6】

液晶表示装置において、結晶化の必要なトランジスタ領域が各画素領域に配置されている様子を示す図である。

【図7】

透過フィルターとマイクロレンズアレイとの協働作用により位相シフトマスク上で得られる光強度分布を説明する図である。

【図8】

透過フィルターとマイクロレンズアレイと位相シフトマスクとの協働作用により被処理基板上で得られる光強度分布を説明する図である。

【図 9】

本発明の第 2 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

【図 1 0】

本発明の第 3 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

【図 1 1】

変形例で用いられるマイクロシリンドリカルレンズアレイの構成を概略的に示す図である。

【図 1 2】

変形例で用いられる透過フィルターの構成を概略的に示す図である。

【図 1 3】

変形例において被処理基板上で得られる光強度分布を説明する図である。

【図 1 4】

位相シフトマスクの変形例を示す図である。

【図 1 5】

一体的に形成されたマイクロレンズアレイと位相シフトマスクとの製造方法について説明する図である。

【図 1 6】

各実施形態の結晶化装置を用いて電子デバイスを作製する工程を示す工程断面図である。

【符号の説明】

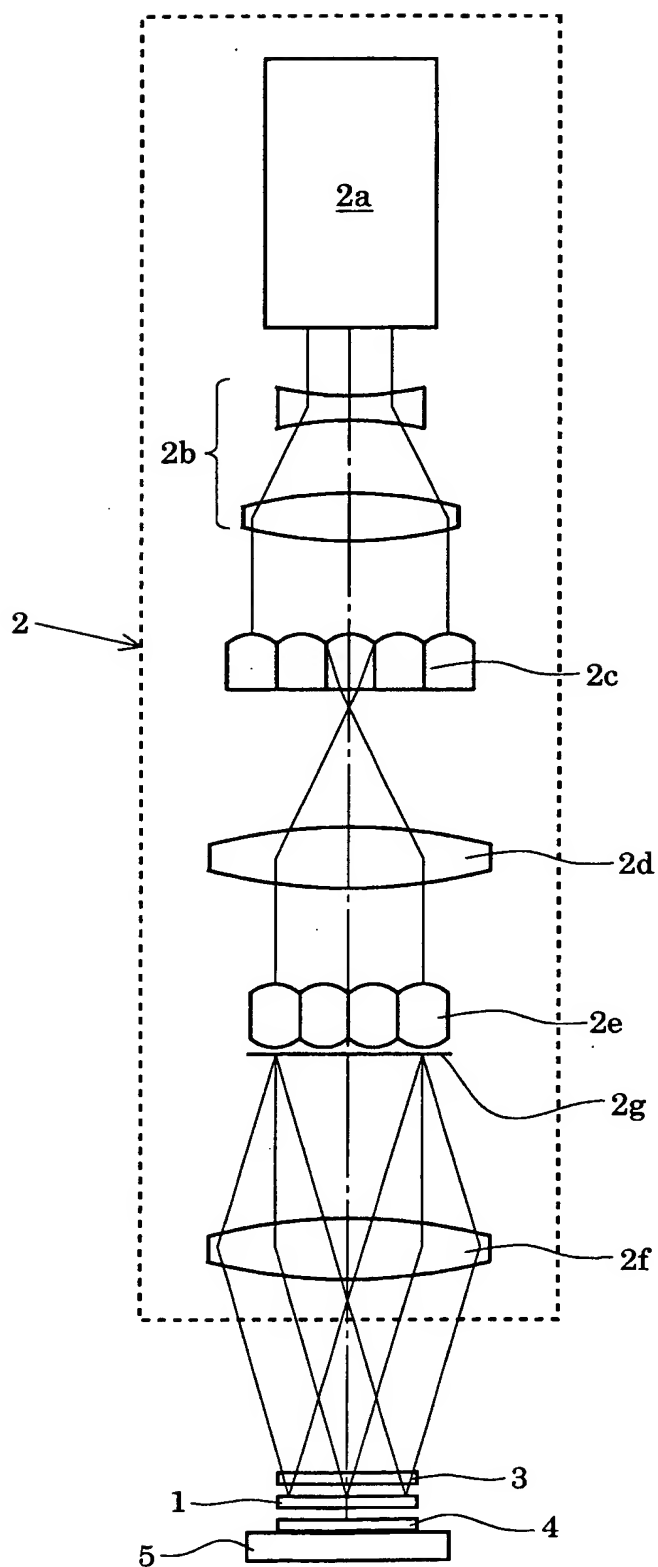
- 1 位相シフトマスク
- 2 照明光学系
  - 2 a K r F エキシマレーザ光源
  - 2 b ビームエキスパンダ
  - 2 c, 2 e フライアイレンズ
  - 2 d, 2 f コンデンサー光学系
  - 2 g, 2 h 透過フィルター

- 3 マイクロレンズアレイ
- 3' マイクロシリンドリカルレンズアレイ
- 4 被処理基板
- 5 基板ステージ
- 6, 7 結像光学系
- 1 1 位相シフトマスクの基本単位部分
- 1 3 マイクロレンズアレイの微小レンズ要素

【書類名】

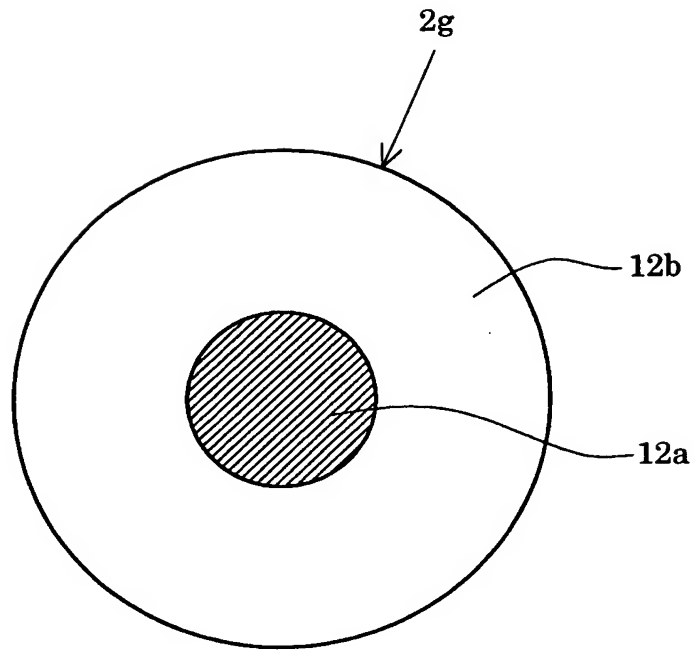
図面

【図 1】

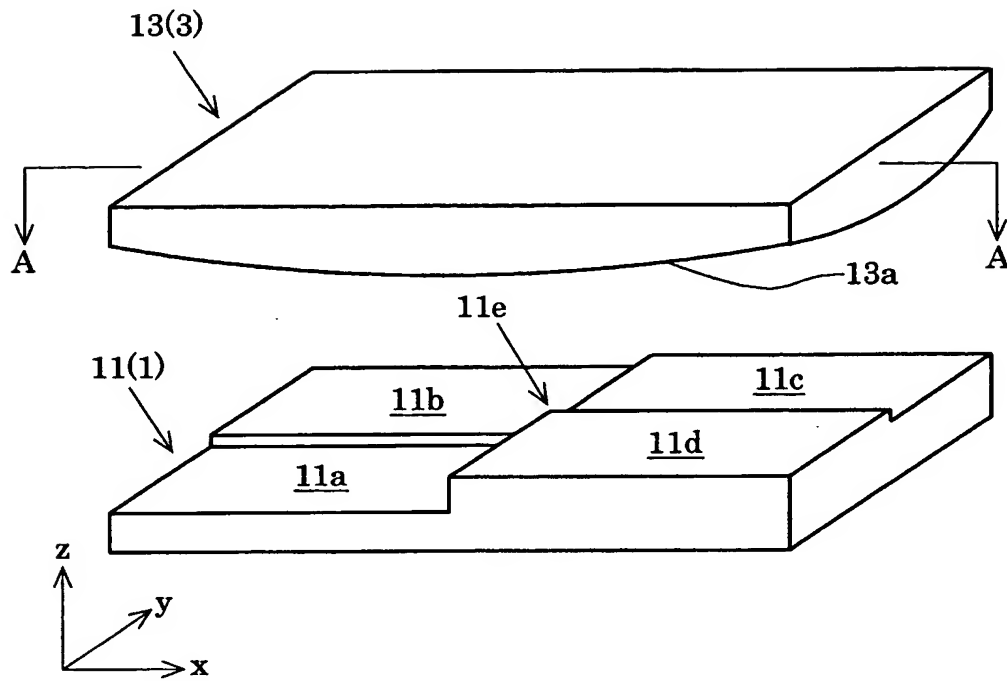




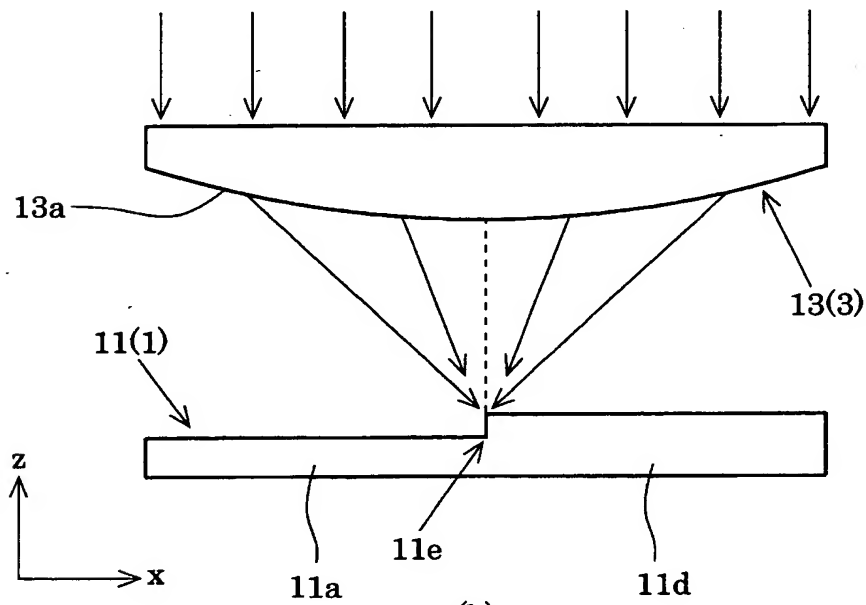
【図 2】



【図 3】

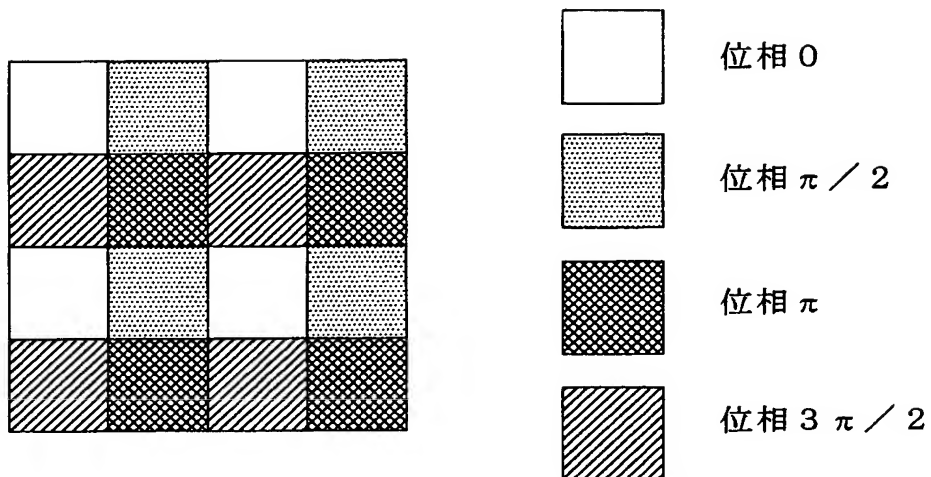


(a)

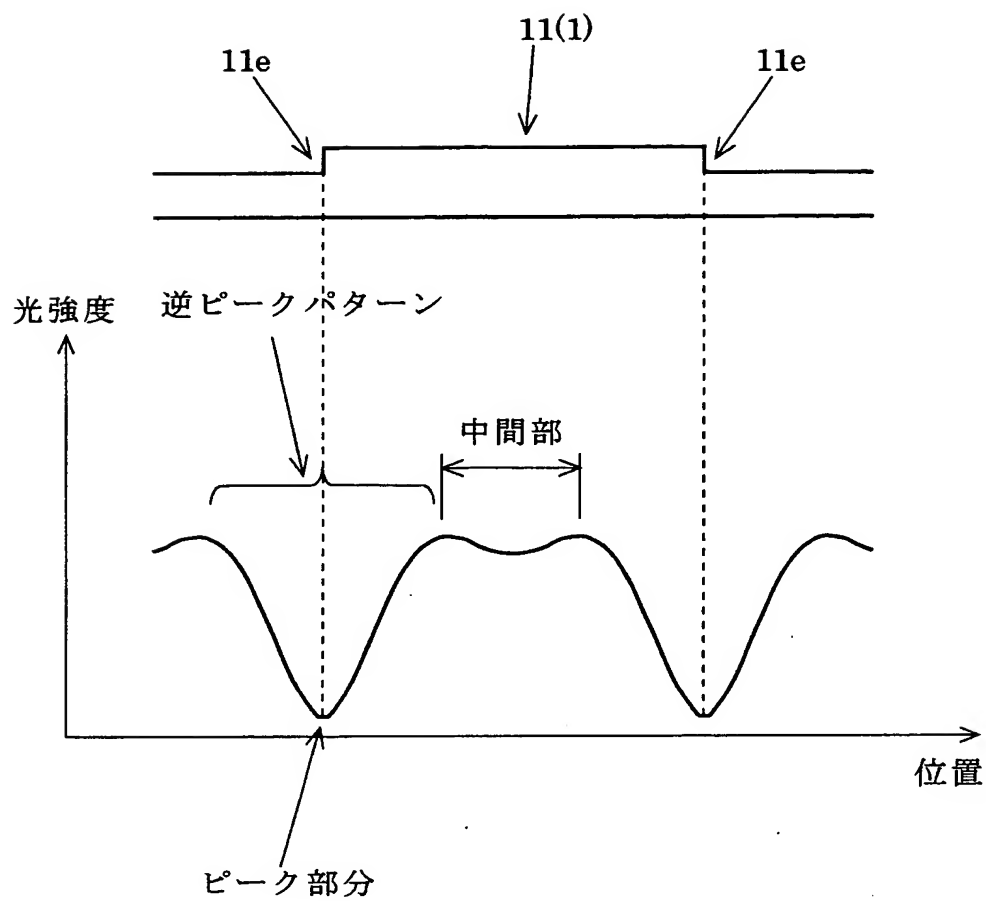


(b)

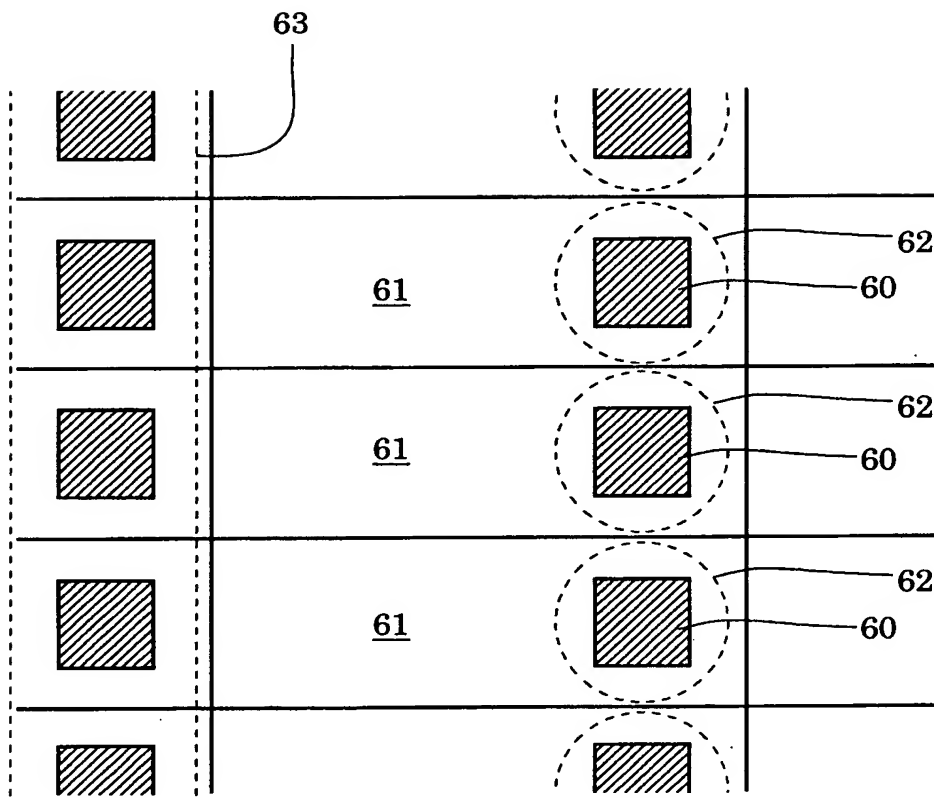
【図 4】



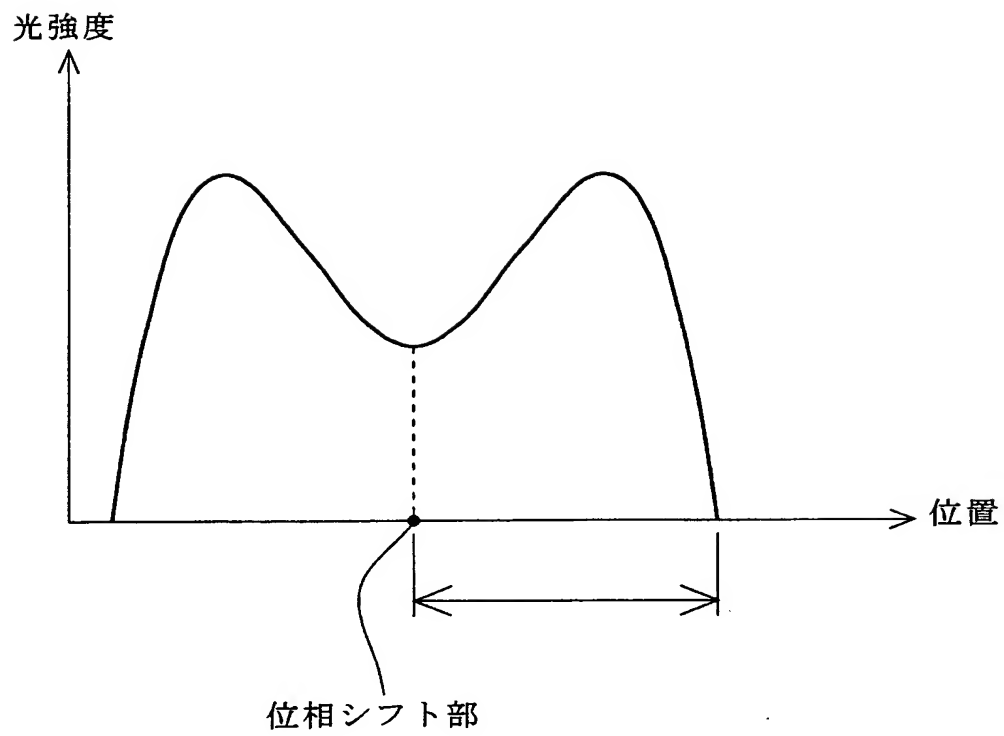
【図5】



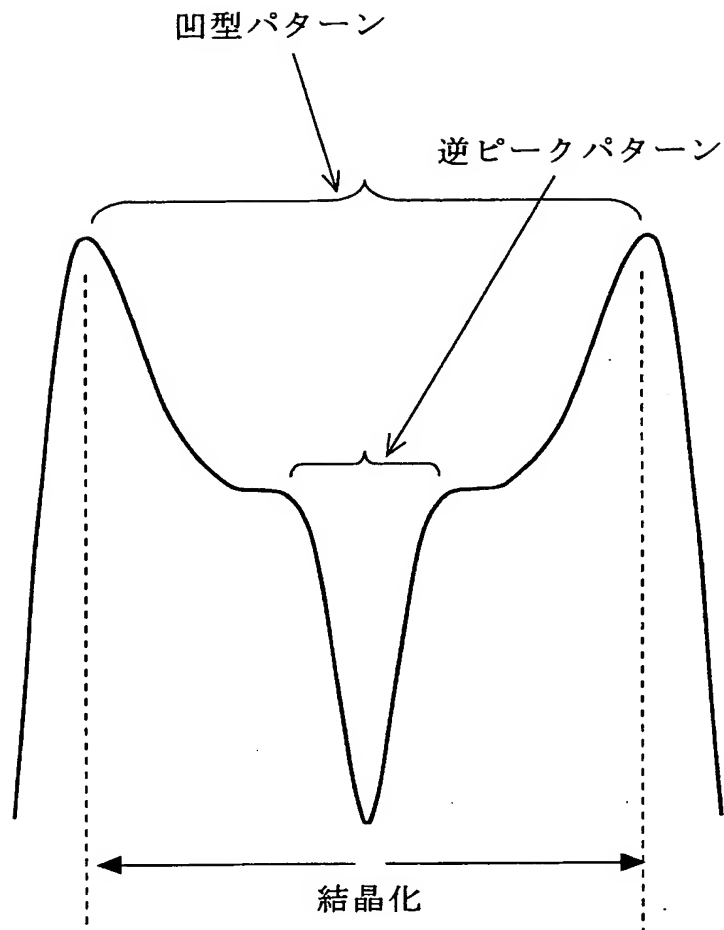
【図 6】



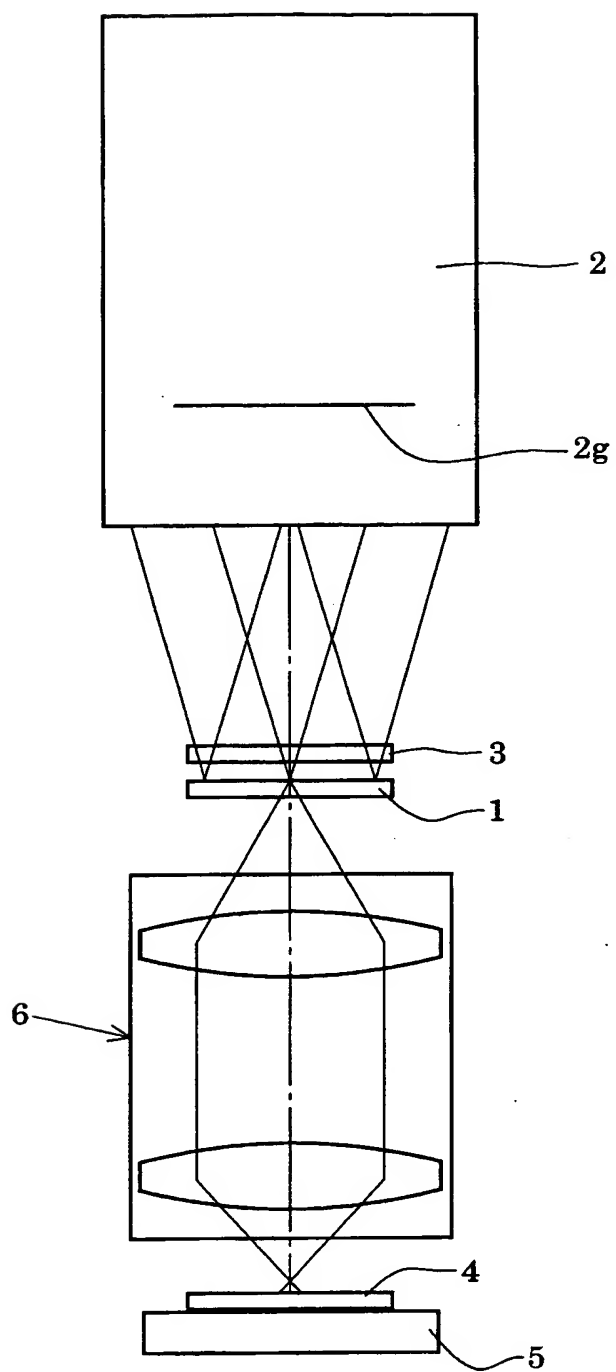
【図 7】



【図 8】

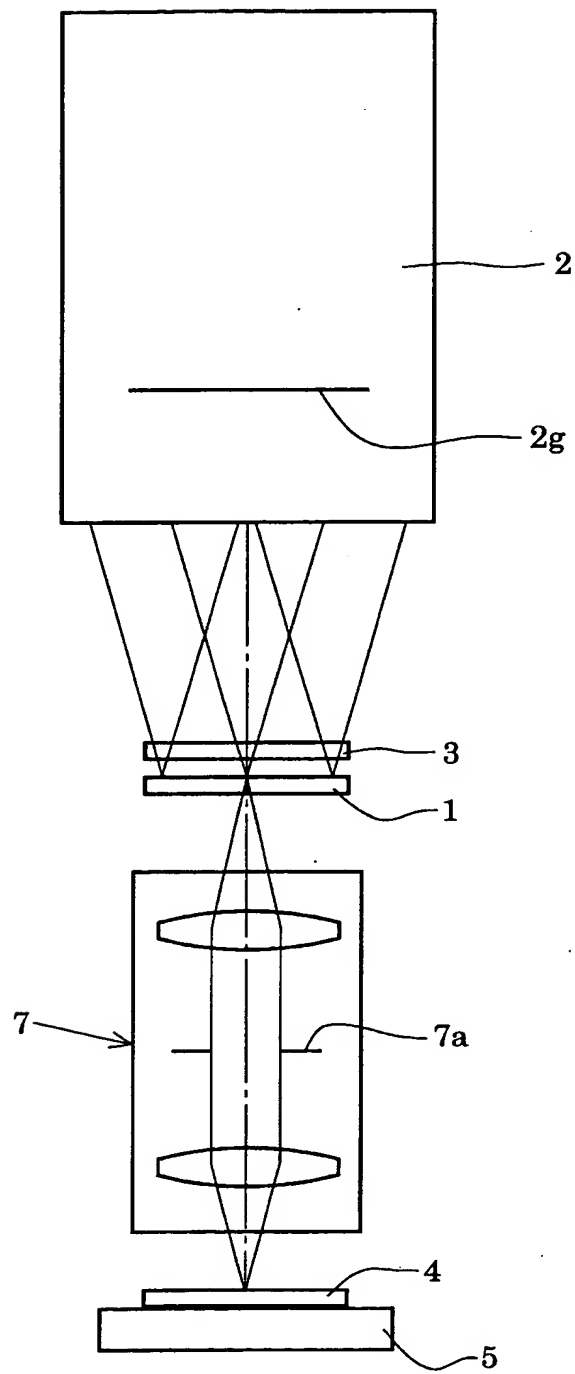


【図9】

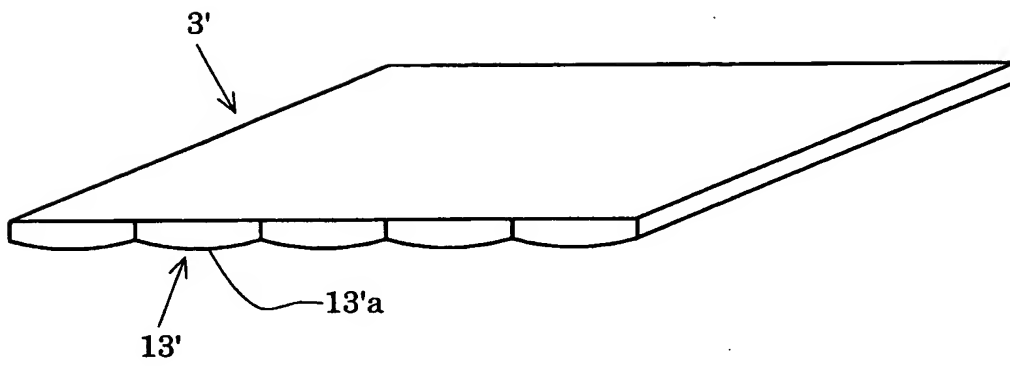




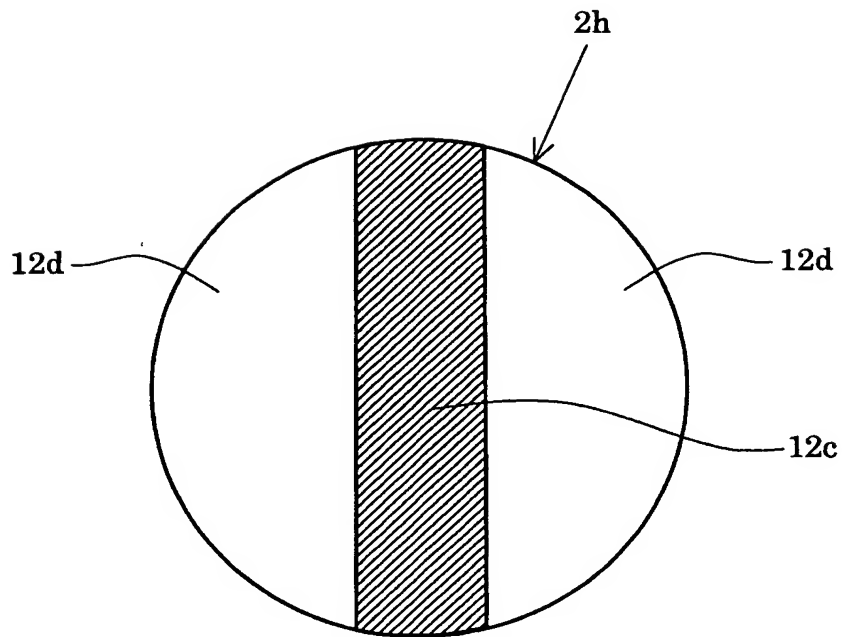
【図 1 0】



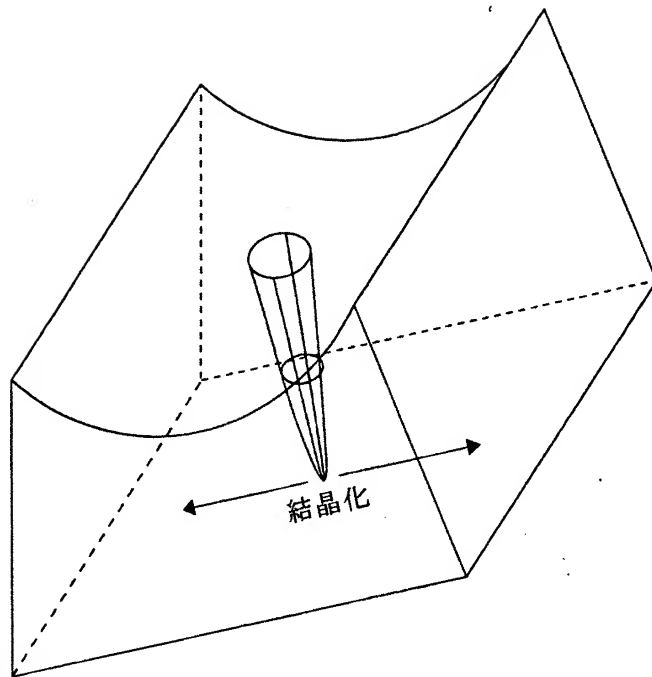
【図 1 1】



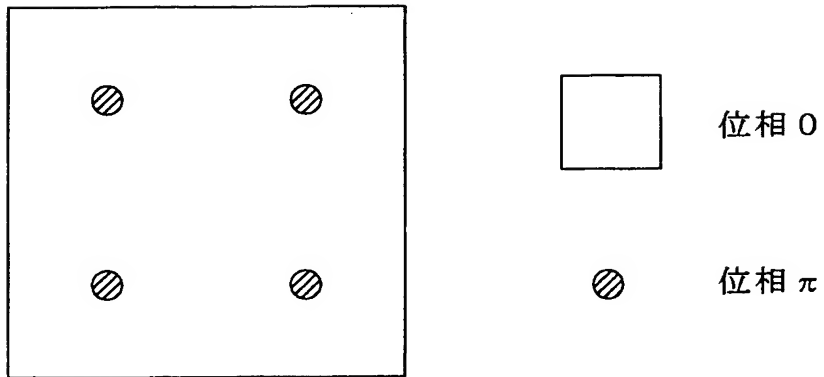
【図 1 2】



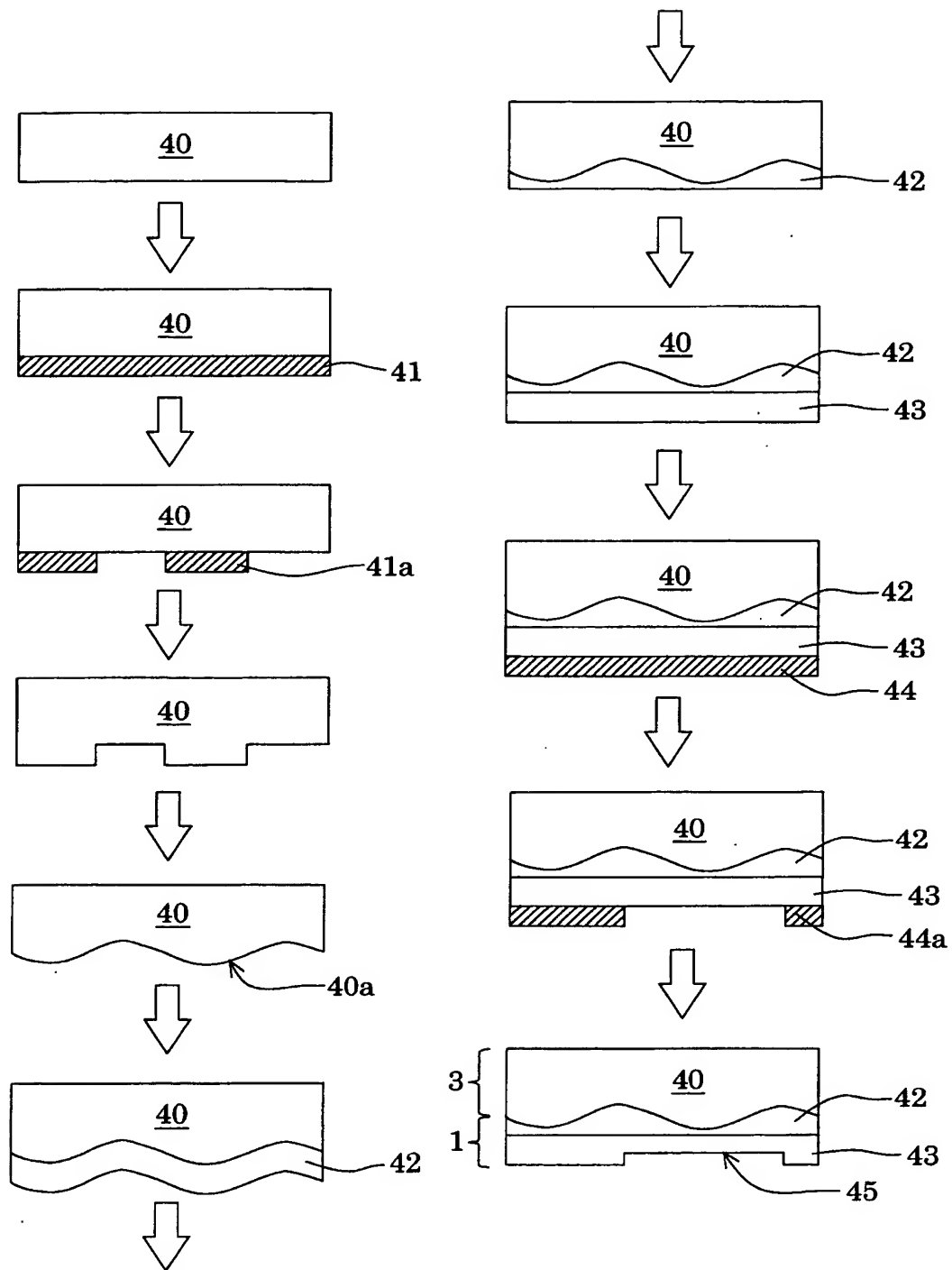
【図13】



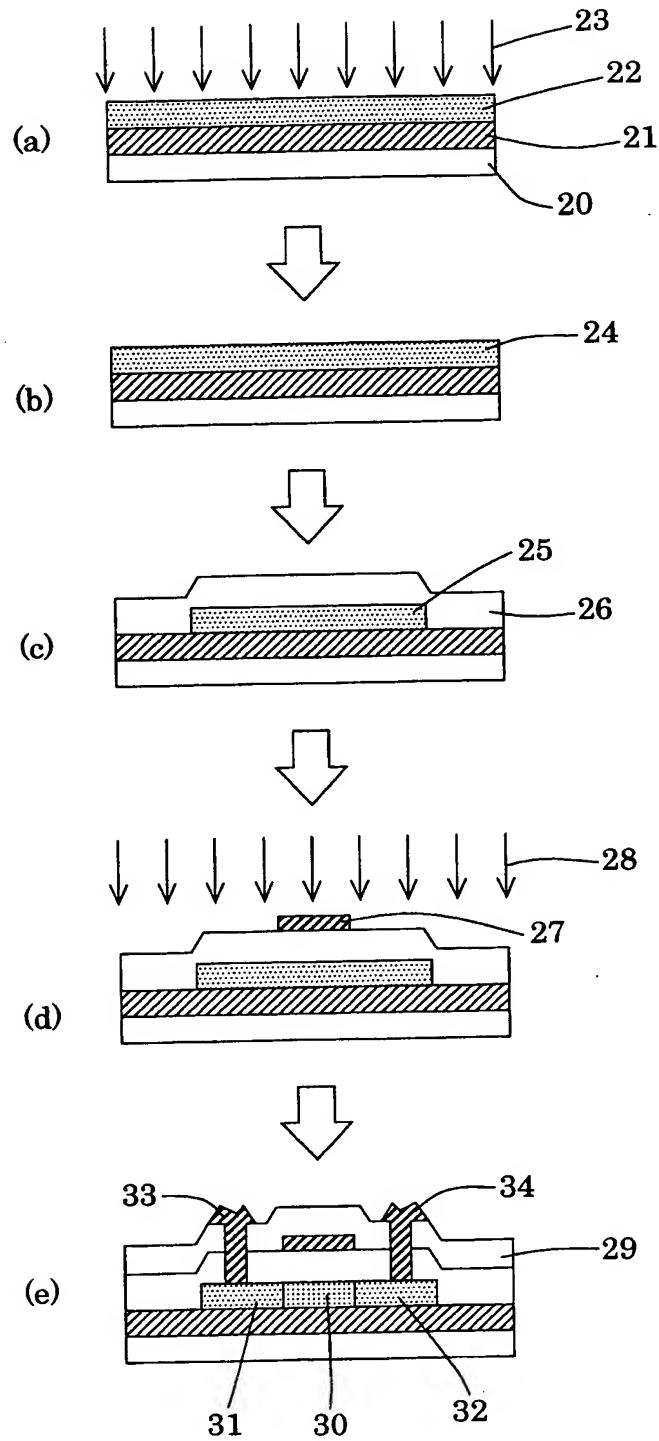
【図 1 4】



【図 15】



【図 1 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 照明光学系から供給される光の大部分を所望領域の結晶化に寄与させることのできる、光効率の良好な結晶化装置。

【解決手段】 位相シフトマスク（１）を照明する照明光学系（２）を備え、位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を非晶質半導体膜（４）に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置。照明光学系と位相シフトマスクとの間の光路中に波面分割素子（３）が配置されている。波面分割素子は、照明光学系から供給された光束を複数の光束に波面分割し且つ波面分割された各光束に対応する位相シフト部またはその近傍へ集光する。

【選択図】 図 1



認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-188846
受付番号	50200946474
書類名	特許願
担当官	第四担当上席 0093
作成日	平成14年 7月 1日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成14年 6月28日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [501286657]

1. 変更年月日 2001年 7月18日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地

氏 名 株式会社 液晶先端技術開発センター